

Martina JANULÍKOVÁ¹, Radim ČAJKA², Pavlína MATEČKOVÁ³, Marie STARÁ⁴

**MODELOVÁNÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ S KLIZNOU SPÁROU S VYUŽITÍM
VÝSLEDKŮ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH PÁSŮ**

**MODELING OF FOUNDATION STRUCTURES WITH SLIDING JOINT USING
RESULTS OF LABORATORY TESTS OF ASPHALTS BELTS**

Abstrakt

Dlouhodobým výzkumným cílem problematiky reologických kluzných spár je přispět k aktualizaci stávajících výpočetních metod pro jejich navrhování. Aplikace kluzné spáry do základové konstrukce se využívá pro snížení tření, které může v základové spáře vznikat od účinků vodorovných zatížení (např. od vlivu poddolování). Správnost návrhu reologické kluzné spáry závisí především na znalosti mechanických vlastností materiálu kluzné spáry, nejčastěji asfaltových pásů, které se na fakultě stavební testují s využitím vlastního měřicího zařízení a klimatizační komory. V současné době neustále probíhá řada měření a výsledky jsou využívány např. pro numerické modelování. Tento příspěvek si klade za cíl ukázat možné přístupy k modelování asfaltové kluzné vrstvy v základové konstrukci a stručně shrnout jejich výhody i nevýhody.

Klíčová slova

Kluzná spára, asfaltový pás, základové konstrukce, modelování kluzné spáry.

Abstract

Long-term objective of rheological sliding joints research is to contribute to updating the existing computational methods for their design. Sliding joint are applied in foundation structure to reduce the friction which is caused in footing bottom due to horizontal deformation loading (e.g. effect of undermining, pre-stressing). Accuracy of rheological sliding joints design depends on knowledge of the mechanical properties of used materials. The most common materials for sliding joint are asphalt belts, which are tested at Faculty of civil engineering using own testing equipment and temperature controlled room. Currently, series of measurements have been carried out so that the results could be used for the numerical modeling. This papers aim is to present possible approaches to asphalt belt sliding joint numerical modeling in foundation structure and summarize their advantages and disadvantages.

Keywords

Sliding joint, asphalt belt, foundation structures, modeling of sliding joint.

¹ Ing. Martina Janulíková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: martina.janulikova@vsb.cz.

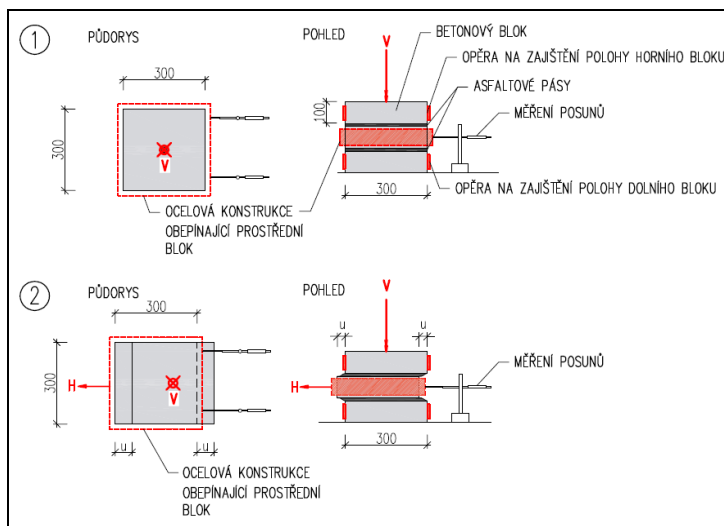
² Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

³ Ing. Pavlína Matečková, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz.

⁴ Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

1 ÚVOD

Abychom mohli reologické kluzné spáry správně navrhovat, je nutné znát mechanickou odezvu použitého materiálu při dlouhodobě působícím smykovém zatížení, přičemž nejčastěji používaným materiálem pro vytvoření kluzné spáry jsou právě asfaltové pásy viz [1] až [5]. V roce 2007 byly na stavební fakultě VŠB provedeny první měření na vlastním měřicím zařízení pro různé druhy asfaltových pásů za běžné laboratorní teploty [6]. Základní princip zkoušky je na Obrázku 1.



Obr. 1: Základní princip zkoušky asfaltových pásů

Tyto zkoušky volně navazovaly na zkoušky asfaltových pásů z 80. let [7]. Původní měřicí zařízení bylo v roce 2010 umístěno do klimatizační komory, která byla navržena a sestrojena speciálně pro zahrnutí vlivu teploty do výsledků zkoušek (Obrázek 2). Metodika měření se zahrnutím vlivu teploty a některé výstupy ze zkoušek byly blíže zpracovány například v [8].

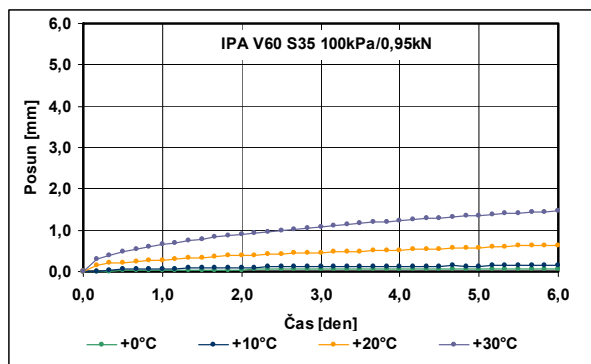


Obr. 2: Měřicí zařízení umístěné v klimatizační komoře

2 VÝSLEDKY LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

Cílem těchto zkoušek bylo simulovat chování betonové konstrukce s aplikovanou kluznou spárou namáhanou poměrným vodorovným přetvořením, přičemž teplota prostředí byla regulována pomocí klimatizační komory. Po celou dobu měření byly sledovány hodnoty deformací, které asfaltový pás dovolí při dané teplotě a kombinaci zatížení (Obrázek 3). Obecně lze konstatovat, že při vyšších teplotách prostředí dochází vlivem změn mechanických vlastností asfaltových pásů k větším deformacím a naopak. Z naměřených deformací lze odvodit například tzv. třecí parametry C_{Ix} a C_{Iy} (viz [9] až [12].), které je možno definovat v některých komerčních programech a naleznou tak

využití v běžné projekční praxi. Mimo jiné lze z výsledků zkoušek dopočítat také některé mechanické vlastnosti asfaltových pásů, které jsou využívány jako podklad pro numerické modelování základových konstrukcí s kluznou spárou, dále viz [13] až [16].



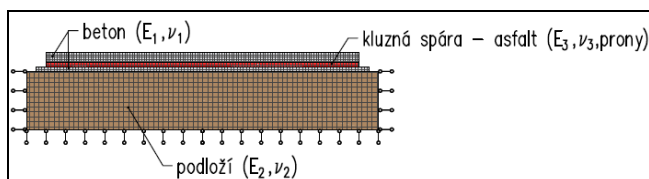
Obr. 3: Ukázka primárních výstupů z laboratorního testování asfaltových pásů

3 NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ

K numerickému modelování základových konstrukcí s kluznou spárou byl využit MKP program ANSYS 12.0. Pro názornost byl řešen jednoduchý základový pás ve 2D (Obrázky 4 a 6). Pro tvorbu samotného numerického modelu se nabízí dva základní způsoby. První možností je namodelovat asfaltovou vrstvu v její „reálné“ tloušťce a definovat vlastnosti této vrstvy prostřednictvím viskoelastického materiálového modelu. S pomocí těchto modelů lze zohlednit změny mechanických vlastností asfaltových pásů v čase, přičemž ty lze nadefinovat s využitím výsledků zkoušek při různých teplotách (Obrázek 4). Druhou možností je mezi základ a podkladní betonovou vrstvu, která se provádí vždy při aplikaci kluzné spáry pro ochranu asfaltového pásu, nadefinovat vlastnosti kontaktních prvků například pomocí součinitele tření (Obrázek 6).

3.1 Asfalt jako viskoelastický materiál

Asfalt je materiál, který při svém přetváření vykazuje viskoelastické chování, a proto se při jeho popisu často využívá teorie reologie [17]. Je to nauka o deformaci látek v závislosti na čase za působení mechanických vlivů. Základním principem reologické teorie při popisu chování materiálů s reologickými vlastnostmi je nahrazení skutečných látek látkami jednoduššími, snáze fyzikálně i matematicky popsatelnými, případně jejich kombinacemi. Např. litý asfalt a jeho vlastnosti takto idealizujeme pomocí tzv. Burgesovy hmoty.



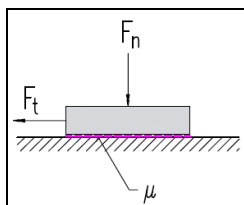
Obr. 4: Modelování kluzné spáry jako vrstvy s viskoelastickými vlastnostmi

Pro modelování asfaltových pásů v programu ANSYS byla využita idealizace pomocí modelu nelineárního materiálu s využitím rovnic Prony series, do kterých potřebujeme znát reologické konstanty. Ty lze jednoduše získat pomocí nástroje obsaženého v programu ANSYS na základě výsledků laboratorních zkoušek. Z výsledků zkoušek prováděných v klimatizační komoře se dopočítá smykový modul pružnosti pro jednotlivé okamžiky a na základě jeho průběhu jsou v ANSYSU automaticky dopočteny potřebné konstanty v daných časových intervalech. Takto jsou do modelu základového pásu zahrnuty materiálové vlastnosti kluzné spáry v závislosti na čase.

Výsledný numerický model pak počítá se třemi materiály – beton, zemina a asfaltová vrstva. Asfaltovou vrstvu by bylo vhodné modelovat v její reálné tloušťce, což je však nevhodné vzhledem k poměru s ostatními rozměry konstrukce. Při modelování zde pro tyto účely bylo přijato značné zjednodušení, tloušťka asfaltové vrstvy byla uvažována vyšší než ve skutečnosti a po výšce rozdělena na 2 elementy. To ale následně značně zkresluje výsledné napětí. Dalším problémem, se kterým se setkáváme při modelování pomocí viskoelastických materiálových modelů, je značný řádový rozdíl v modulu pružnosti jednotlivých materiálů. Model je zobrazen na Obrázku 4.

3.2 Definování asfaltové vrstvy kontaktními elementy

S ohledem na poměr tloušťky asfaltové vrstvy a ostatních rozměrů se jako další vhodná varianta jeví právě využití kontaktních elementů. Vlastnosti kluzné spáry lze definovat například prostřednictvím součinitele tření μ , který byl zjednodušeně uvažován v závislosti na svislém a vodorovném napětí tak, jak to předpokládá tzv. Coulombův model tření (Obrázek 5).



Obr. 5: Zjednodušený fyzikální model tření

Zjednodušený vzorec pro výpočet součinitele tření:

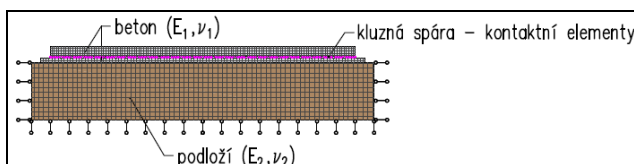
$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (1)$$

kde:

F_t – je horizontální síla,

F_n – je vodorovná síla.

V současné době je řešena možnost definování kontaktních elementů pomocí dynamického součinitele. Dynamické modely tření se využívají právě v případech modelování jevů zjišťovaných experimentálně za rychlostí blízkých nule. Podobu výsledného modelu zobrazuje Obrázek 6.



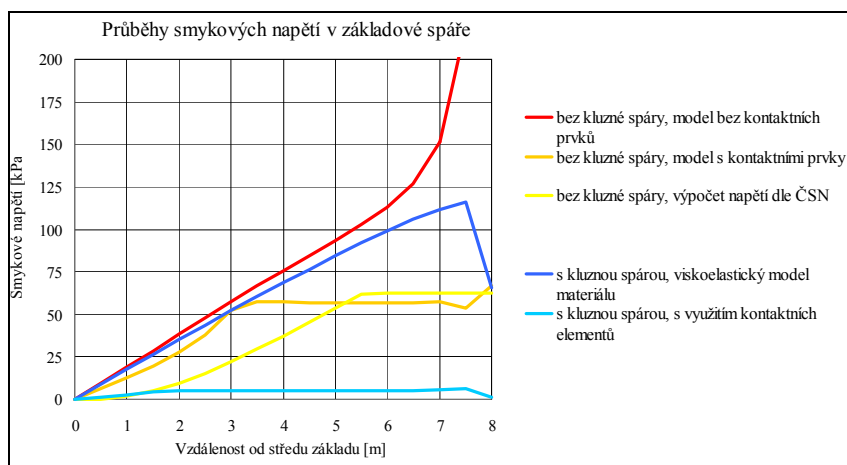
Obr. 6: Modelování kluzné spáry jako kontaktní plochy

4 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ

V grafu na Obrázku 7 jsou uvedeny smykové napětí v kluzné spáře v závislosti na vzdálenosti od středu modelového základového pásu. Pro srovnání je zde uvedena i křivka, která ukazuje průběh smykových napětí bez kluzné spáry dle výpočtu podle současně platné normy [18].

Z Obrázku 7 jsou také patrné rozdíly mezi jednotlivými přístupy k modelování. Ačkoliv průběhy napětí nelze považovat za konečné, matematické modelování relativně správně vystihuje menší smykový odpor zejména u modelu s kontaktními elementy. U modelu s použitím viskoelastického materiálu dochází vlivem použitých zjednodušení ke značnému nárůstu napětí, což by mohlo z velké části eliminovat právě použití kontaktních elementů. Otázkou zůstává, který model by byl pro skutečný výpočet vhodnější. Při modelování s využitím viskoelasticity lze

vyjádřit vlastnosti asfaltové vrstvy se vším, co k tomu patří včetně časového průběhu. Nevýhodou však zůstává potřeba zvětšit tloušťku asfaltové vrstvy v modelu do nereálných rozměrů, což nepříznivě zkresluje výsledné průběhy napětí. Vzhledem k těmto nepřesnostem a použitým zjednodušením se zdá výhodnější modelování kluzné spáry pomocí kontaktních elementů. Tam bude ale nutné najít vhodnější způsob definování kontaktu.



Obr. 7: Srovnání průběhů smykových napětí v základové spáře

5 ZÁVĚR

Předmětem dalšího výzkumu je zdokonalování postupů, jak zavést potřebné vlastnosti kluzné spáry, včetně vlivu teploty korektněji do výpočtů, ať už při stanovení parametrů kontaktní vrstvy či stanovení charakteristik asfaltu. Na jednu stranu je výhodné modelovat kluznou spáru jako vrstvu s viskoelastickými vlastnostmi, na druhou stranu mohou být výsledky zkreslené kvůli použitým zjednodušením. U modelů s kontaktními elementy sice nejsou do výpočtu zahrnuty viskoelastické vlastnosti asfaltu, avšak při správném vyjádření parametrů kontaktu se právě kontaktní elementy jeví jako vhodný nástroj k modelování kluzných spár. Protože oba přístupy mají své výhody i nevýhody, budou nadále vyvíjeny oba modely.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 – Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi.

LITERATURA

- [1] ČAJKA R. Reological properties of bituminous materials for slide joints. In *ConMat 05, Third International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications*, Vancouver, Canada, August 22-24, 2005, ISBN0-88865-810-9.
- [2] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P.: Building structures in danger of flooding. In *IABSE Conference on Role of Structural Engineers Towards Reduction of Poverty*, February 19-22, 2005, New Delhi, India, ISBN 3-85748-111-0.
- [3] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P. Advanced bituminous materials as slide joints in subsoil of structures. In *International Conference on Advanced Materials for Construction of Bridges, Buildings and other Structures-IV*, August 14-19, 2005 Maui, Hawaii.
- [4] ČAJKA, R.: Soil - structure interaction in case of exceptional mining and flood actions, In *COST 12 - Final Conference Proceedings*, 20 - 22 January 2005, University of Innsbruck, Austria, ISBN 04 1536 609 7.

- [5] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P. & SEKANINA, D. Reduction of volume changes concrete effects on state of stress of foundation structure. In *Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation*, Lyngby, 20-23 August 2006, Denmark, ISBN: 2-35158-004-4.
- [6] MAŇÁSEK, P.: *Základové konstrukce s kluznou spárou*. Disertační práce na Fakultě stavební VŠB-TU, Ostrava, 2008.
- [7] BALCÁREK, V. & BRADÁČ, J.: Použití asfaltových izolačních pásů jako kluzné spáry staveb na poddolovaném území. In *Pozemní stavby*, 1982, číslo 2.
- [8] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Laboratorní testování asfaltových pásů s vlivem teploty. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, rok 2011, ročník XI, číslo 2, řada stavební, s. 15-21, ISSN 1213-1962.
- [9] ČAJKA, R. a MAŇÁSEK, P. Physical and FEM shear load response modeling of viscoelasticity material. In *The Eighth International Conference on Computational Structures Technology, (CST 2006)*, 12-15 September 2006, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, ISBN 10-905088-08-6.
- [10] ČAJKA, R., MAŇÁSEK, P. Numerical analysis of the foundation structures with sliding joint. In *Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction - Building a Sustainable Environment*, Taipei, Taiwan, 19. - 21. 11. 2008. S. 716-717. Sborník příspěvků X. konference a CD, ISBN 978-986-80222-4-9.
- [11] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Modeling of foundation structure with slide joint depending up the temperature. In *9th International FIB Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization*. Rotorua, New Zealand, 2011, ISBN 978-0-473-19028-6.
- [12] ČAJKA, R. & JANULÍKOVÁ, M. & MATEČKOVÁ, P. & STARÁ, M.: Modeling of foundation structure with slide joint with temperature dependant characteristics. In *Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. Chania, Crete, Greece, 2011, pp. 208. ISBN 978-1-905088-45-4.
- [13] ČAJKA, R. & MAŇÁSEK, P.: Finite Element Analysis of a structure with a sliding joint affected by deformation loading. In *The eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*. 18-21.9. 2007, St. Julians, Malta, ISBN 978-1-905088-17-1.
- [14] ČAJKA, R. Contact subsoil shear FEM element. In *SEMC 2007 The third International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation*, 10.-12. September, Cape Town, South Africa, ISBN 9789059660540.
- [15] ČAJKA, R. & MYNARZOVÁ, L. Využití numerického modelování při analýze zděné konstrukce na poddolovaném území. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, rok 2009, ročník IX, č. 1, řada stavební, s. 1-6, ISSN 1213-1962.
- [16] ČAJKA, R.: Semispace FEM element and soil - structure interaction. In *The Third International fib Congress and Exhibition & PCI Annual Convention and Bridge Conference*, May 29 - June 2, Washington, D.C. 2010, USA.
- [17] SOBOTKA, Z.: *Reologie hmot a konstrukcí*. 1. vydání, Praha: Academia, 1981, 400s.
- [18] ČSN 73 0039: *Navrhování objektů na poddolovaném území*. Praha: ČNI, 1989.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.

Doc. Ing. Václav Cepek, CSc., Ostrava.